ÜBER DIE

GÜLTIGKEIT DES BUNSEN-ROSCOESCHEN GESETZES

FÜR

BROMSILBERGELATINE.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT ROSTOCK

VORGELEGT

VON

ANTONIUS SCHELLEN

AUS

MÜNSTER I. W.

MÜNSTER 1898.

GEDRUCKT BEI F. ALTHOFF.

ÜBER DIE

GÜLTIGKEIT DES BUNSEN-ROSCOESCHEN GESETZES

FÜR

BROMSILBERGELATINE.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT ROSTOCK

VORGELEGT

VON

ANTONIUS SCHELLEN

AUS

MÜNSTER I. W.

ACAD.
LEGD. BAT.
BIBL.

MÜNSTER 1898.

GEDRUCKT BEI F. ALTHOFF.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552726_0163

Referent:

Prof. Dr. Matthiessen.

Ueber die Gültigkeit des Bunsen-Roscoe'schen Gesetzes

für Bromsilbergelatine

von A. Schellen, Münster i. W.

Einleitung.

1. Bunsen und Roscoe haben bekanntlich [1]) aus eingehenden Versuchen mit einem Chlorsilberpapier von konstanter Empfindlichkeit das Gesetz abgeleitet, dass „innerhalb sehr weiter Grenzen gleichen Produkten aus Lichtintensität und Insolationsdauer gleiche Schwärzungen auf Chlorsilberpapier von gleicher Sensibilität entsprechen“ [2]).

Betrachtet man die Schwärzung oder besser gesagt Färbung des Chlorsilberpapieres als ein Mass der chemischen Wirkung des Lichts so ist demnach die photochemische Arbeit $W = k.i.t$ wenn i die Lichtintensität t die Zeitdauer ihrer Wirksamkeit und k eine Konstante bezeichnet. Das Gesetz fand sich in Bunsen-Boscoe's Versuchen innerhalb der Grenzen 1 bis $22_{,5}$ des Productes i.t, gemessen in einer willkürlichen Einheit, bestätigt und zwar für Lichtintensitäten, die um das 45fache variirten Natürlich muss bei constanter Belichtungszeit die Schwärzung der

1) Pogg. Ann. 117 pg. 529 (1862).

2) l. c. pg. 538.

Lichtintensität proportional sein und auch das zeigen die von Bunsen und Roscoe gegebenen Zahlen.[1])

2. Das Bestehen ähnlicher Gesetzmässigkeiten bei Bromsilbergelatine ist a priori nicht zu erwarten. Denn abgesehen von ihrer sehr viel grössern Lichtempfindlichkeit unterscheidet sie sich von dem nach ganz bestimmten Vorschriften hergestellten Chlorsilberpräparat von Bunsen und Roscoe besonders dadurch dass sie im Licht selbst nur ausserordentlich wenig gefärbt wird. Die Schwärzung an den belichteten Stellen erfolgt vielmehr secundär durch chemische Mittel. Da die Menge des im Licht veränderten Silberhaloids — nach den neuesten Untersuchungen von Guntz[2]) ist die Bildung eines Subbromids sehr wahrscheinlich — sich nicht direkt bestimmen lässt, so bleibt der Untersuchung zugänglich nur die daraus durch den Entwickler reducirte Silbermenge. Diese ist aber keineswegs das Aequivalent der photochemischen Umsetzung, sondern sehr viel grösser, denn ist erst eine kleine Silbermenge vorhanden so beginnt die Wirksamkeit eines von Eder festgestellten electrolytischen Prozesses, der in der galvanischen Kette Silber-Entwickler-Bromsilber fortdauernd Silber abscheidet.

Trotz dieser mannigfachen hier nur angedeuteten Complicationen lassen sich gewisse gesetzmässige Beziehungen zwischen der wirksamen Lichtmenge und der Dichtigkeit des Silberniederschlages, diese betrachtet als Mass der chemischen Wirkung des Lichtes, auch bei Bromsilbergelatine auffinden, wenn man die Versuche gleichmässig bestimmten

---

[1]) l. c. pg. 538 (Anmerkung: Bei früheren Versuchen fand sich das nicht bestätigt, l. c. pg. 530, zum Teil wegen der weniger vollkommenen Versuchsanordnung, zum Teil weil das Auge bei intensiven Schwärzungen für die Feststellung von Unterschieden sehr unempfindlich ist. So ergaben sich für die Lichtmengen 5 u. 1 die Schwärzungen 0,50 u. 0,22. Diese Zahlen haben zu manchen Irrtümern geführt vergl. Eder Handb. d. Phot gr. II. Aufl., Halle, 1892 I pg. 295, 310, 384 und Miethe Diss, Götting 1898, pg. 11.

[2]) Guntz, Comptes Rendus 1894.

einschränkenden Bedingungen unterwirft von denen noch die Rede sein wird.

3. Abney[1]) von dem die ältesten Untersuchungen über diesen Gegenstand herrühren, hat den Zusammenhang zwischen wirksamer Lichtmenge und Dichtigkeit des Silberniederschlags in Kurven dargestellt aus denen hervorgeht, dass die Schwärzung mit wachsender Lichtmenge schnell zu einem Maximum ansteigt, dann längere Zeit constant bleibt und endlich wieder abnimmt. Der letzte Teil der Kurve entspricht der sogenannten Solarisation des Bromsilbers. Diese Versuche fanden ihre Bestätigung durch eine längere Experimentalarbeit Miethe's „zur Actinometrie astronomisch —photographischer Fixsternaufnahmen“,[2]) deren wesentliches Resultat darin besteht, dass das Bunsen-Roscoe'sche Gesetz auch für Bromsilbergelatine innerhalb eines bestimmten Intervalles gilt, das eine obere und untere Grenze hat. Ausserdem ergab sich, dass bei gleicher chemischer Wirkung zweier Lichtmengen verschiedener Wellenlängen der Effect nicht mehr gleich bleibt, wenn man beliebige Vielfache dieser Lichtmenge anwendet, d. h. mit anderen Worten die Konstante des Bunsen-Roscoe'schen Gesetzes ändert sich mit der Wellenlänge und zwar wächst sie von rot nach violett des Spectrums.

Bei Miethe findet sich zum ersten Mal die wichtige Beobachtung, dass Gesetzmässigkeiten überhaupt nur dann klar hervortreten, wenn die benutzte Bromsilbergelatine sich im Zustand des sogenannten Vorbelichtungs-Maximums befindet, das heisst, wenn ihr soviel Energie in Form von Licht bereits zugeführt wurde als notwendig und hinreichend ist, um einen noch eben bemerkbaren resp. entwickelbaren Eindruck auf der lichtempfindlichen Schicht zu erzeugen. Diesen Energiebetrag nennt man photochemische Induction (Bunsen und Roscoe) Strahlungs-Empfindlichkeit (Ebert) oder

---

[1]) Abney Phil. Mag. 1874 od. Eders Handb. II Aufl. 1, pg. 295.

[2]) Miethe Dissertation, Göttingen 1889.

Schwellenwert (Abney, Eberhard). Eine zahlenmässige Festlegung der Gültigkeitsgrenzen des Bunsen-Roscoeschen Gesetzes in vergleichbaren Einheiten, ist von Miethe nicht gegeben und wegen der im Vergleich mit den gegenwärtig üblichen Präparaten ziemlich unempfindlichen Schicht auch nicht von grossem Interesse.

Andere Forscher, welche ihre lichtempfindlichen Schichten nicht bis zur Erreichung der Schwelle vorbelichteten, fanden starke Abweichungen vom Reciprocitätsgesetz.

Abney fasste seine zahlreichen Versuche[1]) durch eine empirische Formel zusammen, die er als „Fehlergesetz" bezeichnet[2])

$$D = \mu . \log^2 (J . t + C)$$

worin D die Dichtigkeit des Silberniederschlags, J die Lichtintensität, t die Expositionszeit, μ u. C Konstanten sind.

Hurter und Driffield[3]) dagegen leiten unter der nicht erwiesenen Annahme, dass das auf die Platte einwirkende Licht das gewöhnliche Absorptionsgesetz befolgt, die Formel

$$D = \gamma . \log (J . t + C)$$

ab, die sie mit ihren Versuchen in Uebereinstimmung finden. Abney hat später[4]) gezeigt, dass beide Formeln die Versuchsresultate mit hinreichender Annäherung darstellen, doch ist, abgesehen von theoretischen Bedenken, gegen Hurter und Drieffields Versuche der Einwand zu erheben, dass sie mit einer gewöhnlichen Normalkerze gearbeitet haben, deren Fehler bis zu 20 % betragen können. Auch nach Versuchen von Michalke[5]) hat das Bunsen-Roscoesche Gesetz für Bromsilbergelatine keine Gültigkeit.

---

[1]) Abney, Phot. news 1887, pg. 137, Eder l. c. pg. 296.

[2]) Phot. news 1889, pg. 218, Eders Jahrb. 1894, pg. 157.

[3]) Phot. Journal 1890, pg. 217, Eder l. c. pg. 296.

[4]) Abney, Eders Jahrb. 1894, pg. 36.

[5]) Michalke Phot. Mitth. 27 pg. 124. 1890 auch Vogel Handb. d. Photogr., 4. Aufl., Bd. II, pg. 67.

4. Ausser der von Miethe aufgefundenen Notwendigkeit die empfindliche Schicht in den Zustand des Vorbelichtungsmaximums zu bringen, giebt es noch einen Umstand der bedeutende Abweichungen vom photochemischen Grundgesetz zur Folge haben kann und auf den daher hier die Aufmerksamkeit zu lenken ist. Bei der überwiegenden Mehrzahl der bisher angestellten Versuchsreihen, hat nämlich die Aenderung des Produktes i.t stets in der Weise stattgefunden, dass rotirende Sektoren verschiedener Grösse mit verschiedener Rotationsgeschwindigkeit zwischen einer konstanten Lichtquelle und der empfindlichen Schicht bewegt wurden. Dabei findet also eine intermittierende Belichtung von im allgemeinen ungleicher Periode statt. Ist die Intensität der benutzten Lichtquelle gross, so ist es allerdings gleichgültig, ob die Zuführung der Lichtenergie kontinuirlich oder mit Unterbrechungen stattfindet, wie von A. u. L. Lumière[1]) und kürzlich wieder von H. Th. Simon[2]) für ein sinnreiches phothogr. Photometer nachgewiesen wurde.

Abney[3]) dagegen zeigte, dass bei Lichtwirkungen von sehr kleiner Intensität und sehr kurzer Dauer wie sie von Hurter und Driffield und andern benutzt wurden, Abweichungen vorkommen, die selbst wieder von der Intensität und der Zahl und Dauer der Unterbrechungen der Belichtung abhängen.

In der That ist nichts wahrscheinlicher, als dass auch noch Ueberschreitung des Schwellenwertes, also bei bereits eingeleiteter chemischer Veränderung der Schicht, der Zuwachs der Lichtmenge, die einen bemerkbaren Zuwachs der chemischen Einwirkung erzeugt, nicht beliebig klein sein darf. Die Schicht hat auch nach teilweiser Zersetzung eine bestimmte Reizschwelle.

---

[1]) A. u. L. Lumière Moniteur de la Phot. 1887, pg. 27, Eders Handb. l. c. pg. 293.

[2]) Simon Wied. Ann. 59 1896 od. Eders Jahrb 1897, pg. 47.

[3]) Abney Phot. Journal 18, 1893, pg. 56, Eders Jahrb. 1895, pg. 149, 174.

Plan und Ziel der vorliegenden Untersuchung.

5. Nach dem Mitgeteilten schien es von hohem Interesse, zu untersuchen ob bei Verwertung aller bisherigen Erfahrungen, das heisst, Vorbelichtung der empfindlichen Schicht bis zur Schwelle, kontinuirliche Exposition, Aenderung der Lichtintensität nur durch Aenderung des Abstandes u. s. w. auch für hochempfindliche Bromsilbergelatine das Bunsen-Roscoesche Gesetz in einem bestimmten Bereich Gültigkeit hat. Die Empfindlichkeit der gegenwärtig bei photographischen Arbeiten benutzten Bromsilberschicht ist etwa die 40fache[1]) derjenigen für welche Miethe[2]), bei dem die klarsten Gesetzmässigkeiten unter allen bisherigen Arbeiten hervortreten, seine Untersuchung durchgeführt hat. Naturgemäss waren daher die Versuche unter aussergewöhnlichen Vorsichtsmassregeln anzustellen, die weiter unten beschrieben werden. In unserm speciellen Falle sollten die Grenzen des Gültigkeitsbereichs zahlenmässig in vergleichbaren Einheiten angegeben werden.

6. Als Einheit der chemischen Strahlung definiren wir diejenige die, in horizontaler Richtung von einer Hefner-Alteneckschen Amylacetatlampe in einer Secunde ausgesandt wird, wenn die bestrahlte lichtempfindliche Fläche in 1 m Abstand von der Mittellinie der Flamme senkrecht zu einer durch die Flammenmitte gelegten Horizontalebene aufgestellt ist. Diese Einheit erfüllt alle an eine solche zu stellenden Bedingungen, denn nach Bunsens Untersuchungen ist für ein und dieselbe Lichtquelle die chemische Helligkeit der optischen proportional. Wir nennen die Einheit in Analogie mit der bei optisch-photometrischen Messungen üblichen Secundenmeterkerze, bezeichnen sie der Kürze halber und um Irrtümer auszuschliessen mit H-M-S (= Hefner-Meter-

[1]) Eders Handb. l. c. pg. 293.

[2]) Miethe l. c. pg. 18.

Secunde). An der belichteten entwickelten und fixirten Platte messen wir die photochemische Wirkung nicht durch das Gewicht der auf der Flächeneinheit abgeschiedenen Silbermenge sondern auf photometrischem Wege durch den Grad der Schwärzung.

Nennen wir die Intensität des von einer beliebigen Lichtquelle auf die geschwärzte Platte auffallenden Lichtes J, die Intensität des durch die Platte hindurchgegangenen Lichtes J' so ist J' ein bestimmter Bruchteil E des auffallenden Lichtes und man nennt bekanntlich $E = \frac{J'}{J}$ den Extinctionskoëfficienten der Schicht. Von der Schicht absorbiert ist die Lichmenge J-J' demnach $a = \frac{J-J'}{J} = 1 - E$ ihr Absorptionskoëfficient. Dieser ist um so grösser je grösser die Dichtigkeit des Silberniederschlags oder der Grad der Schwärzung. Wir messen daher die photochemische Wirkung durch die Grösse des Absorptionskoëfficienten. Dieser ist bequem zu ermitteln, da J und J' aus gewöhnlichen photometrischen Messungen mit Leichtigkeit erhalten werden können.

Die Resultate der Versuche lassen sich am einfachsten aus Kurven ersehen, bei denen die wirksame Strahlung in H-M-S als Abscisse, die Grösse des Absorptionskoëfficienten als Ordinate aufgetragen wird. Gilt das Bunsen-Roscoesche Gesetz in einem bestimmten Bereich, so müssen die Kurven geradlinige Stücke enthalten, an denen direckt die Grenzen abgelesen werden können.

7. Wir wollen schon hier das wichtigste Resultat unserer Untersuchungen vorweg nehmen, dass für die benutzte Bromsilbergelatine von hoher Empfindlichkeit, wenn man vom Zustand des Vorbelichtungsmaximums ausgeht, das Bunsen-Roscoesche Gesetz in der That gültig ist und zwar in einem Bereich von 1 35 der oben definierten Einheiten. Innerhalb dieser Grenzen entsprechen gleichen

Werten des Produktes aus Intensität und Belichtungszeit stets gleicher Schwärzungen.

Versuchsanordnung.

8. Alle Versuche wurden in einem auf das sorgfältigste verdunkelten Zimmer ausgeführt. Dasselbe enthielt eine optische Bank der gebräuchlichen Form von 7 m Länge, in deren mit Millimeter-Teilung versehener Rinne eine Reihe von Schlitten verschiebbar waren. Die Stellung der Schlitten wurde durch eine an ihnen befestigte feine Nadel, die sich über der Teilung bewegte, bis auf Zehntel Millimeter abgelesen.

Jede Versuchsreihe zerfällt in zwei Teile: erstens die Belichtung der Bromsilbergelatine mit bekannter Lichtmenge, zweitens das Photometriren der entwickelten Platte zur Bestimmung des Absorptionskoëfficienten des erzeugten Silberniederschlags. Da die Lichtintensität nur durch die Entfernung gemessen werden sollte (vgl. § 4) und von ihrer Konstanz über eine grosse Zahl von Versuchen und während langer Belichtung die Versuchsresultate in erster Linie abhängen, so kann als Lichtquelle nur die Hefner-Alteneck'sche Amylacetatlampe in Betracht kommen. Wir benutzten sie mit dem von Krüss[1]) angegebenen Flammenmaass. Die Flammenhöhe betrug bei allen Aufnahmen 40 mm bei einem Dochtdurchmesser von 5 mm. Durch die Verwendung dieser Lichtquelle und die Dimensionen unseres Arbeitsraums sind die Intensitäten bestimmt mit welchen alle unsere Versuche ausgeführt wurden. Sie liegen zwischen den Grenzen 0,028 und 1,000 Hefner-Einheiten. Wie die Versuche ergeben haben, ist dieses Intervall zur Erreichung unseres Zieles mehr als ausreichend gewesen.

Die zu belichtende Platte befand sich in einem Kästchen, das mit einem der Schlitten fest verbunden war.

[1]) Journal für Gasbeleuchtung 1887.

Aus Fig. 1 ist die Einrichtung des Kästchens zu ersehen. Seine Vorderwand wird gebildet durch einen Metallsectorenverschluss wie er für photographische Momentaufnahmen üblich ist und der sich vorteilhaft auch zu Zeitbelichtungen von bekannter Dauer verwenden lässt. Der Verschluss öffnet sich plötzlich durch Druck auf einen Gummiball und kann durch einen zweiten Druck wieder geschlossen werden. Die zum Schliessen und Oeffnen erforderliche Zeit war ausserordentlich klein im Vergleich zur Expositionszeit. Die unvermeidlichen kleinen Schwankungen, denen diese Zeitdauer infolge der Konstruktion des Verschlusses unterworfen ist, beeinträchtigen die Genauigkeit der Versuche in keiner Weise, nur ihre Differenz wirkt, da der persönliche Fehler beim Öffnen und Schliessen entgegengesetzte Vorzeichen hat. Die genaue Abgrenzung der Belichtungszeit war durch Benutzung eines halbe Secunden schlagenden Metronoms verbürgt.

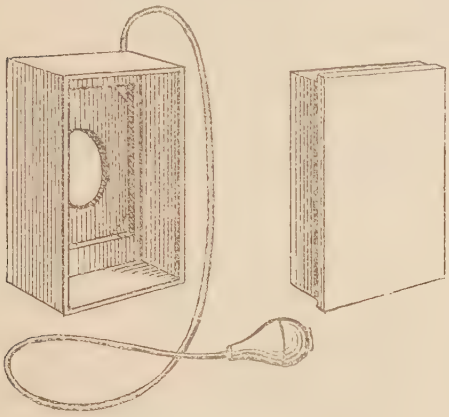


Fig. 1.

Besondere Schwierigkeit machte die Wahl des leicht empfindlichen Materials. War es einerseits wünschenswert eine Bromsilbergelatine von der jetzt allgemein üblichen Empfindlichkeit zu verwenden, so hatte andererseits gerade diese den Übelstand, durch kleine Lichtmengen, wie sie bei der Fabrikation und dem Einlegen und Entwickeln der Platten unvermeidlich sind, stark beeinflusst zu werden. Nach verschiedenen Versuchen entschlossen wir uns, eine grössere Menge Platten derselben Emulsion von einem

Fabrikanten (Dr. C. Schleussner, Frankfurt a. M.) zu beziehen, wodurch die gleichmässige Beschaffenheit der Schicht, wie die Versuche ergaben, hinreichend gewährleistet war.

Das Einlegen und Entwickeln geschah, um alle aus falschem Licht entspringenden Fehlerquellen zu vermeiden, bei vollkommener Dunkelheit. Vorversuche hatten nämlich ergeben, dass eine, wenn auch schwache, rote Beleuchtung des Dunkelraumes merkliche Schleier von unkontrollierbarer Stärke erzeugte.

Zu Anfang war das Hantieren im völlig dunklen Zimmer naturgemäss sehr lästig und unsicher, nach einiger Übung ging jedoch die Arbeit ohne jede Schwierigkeit von statten. Stets wurde eine ganze Serie von Platten bei steigender Expositionszeit in gleichem Abstand von der Lampe belichtet und alle Platten einer solchen Serie in grossen Entwicklungsschaalen gleichzeitig hervorgerufen. Die Entwicklung geschah mit oxalsaurem Eisen von gleicher normaler Zusammensetzung:

Neutrales oxals. Kali	100 gr	I
Destill. Wasser	300 gr	
Eisenvitriol	100 gr	II
Destill. Wasser	300 gr	

(3 Teile I gemischt mit 1 Teil II ohne Zusatz von Bromkali).

Die Lösung wurde stets auf die Temperatur von 18 ° C. gebracht; auch wurde die Zeitdauer der Entwicklung mit Hilfe eines Metronoms für die Serien gleich gemacht. Auf den Schlag einer Sekunde wurden sämtliche Platten einer Serie mit einem grossen Quantum Entwickler gleichzeitig bedeckt und zum Schluss die Entwicklung durch Übergiessen einer beträchtlichen Wassermenge gleichzeitig unterbrochen. Die Entwicklungszeit hat 110 Sekunden bei den endgültigen Versuchen betragen.

Auch auf das Trocknen der Platten musste Sorgfalt verwandt werden, da bekannt ist, dass die Dichtigkeit eines Negativs durch die Schnelligkeit des Auftrocknens der Ge-

latineschicht bedeutend beeinflusst wird. Die Platten waren daher in gleichmässig temperirtem Raum, vor Luftzug geschützt, zum freiwilligen Trocknen aufzustellen.

9. Die Dichtigkeit des Silberniederschlags der fertigen Platten wurde, wie oben erwähnt, durch Messen der Absorptionskoëfficienten bestimmt Diese Bestimmung geschah unter Benutzung eines Bunsen'schen Photometers der gebräuchlichen Einrichtung auf derselben optischen Bank, die zu den Belichtungsversuchen diente. Als Vergleichslichtquelle wurde auf der andern Seite der Platte eine Petroleumlampe benutzt, deren Intensivität vor jeder Messungsreihe durch Vergleichung mit der Amyllampe neu bestimmt wurde. Bei der Belichtung der Platte, wie beim Photometrieren war die optische Bank von grossen geschwärzten Pappröhren zu umhüllen, die an den Schlitten zusammenstiessen, sodass Reflexe und seitliches Licht vermieden wurden.

Fehlerquellen.

10. Schon Bunsen und Roscoe haben bei ihren Untersuchungen gefunden, dass, um eine merkliche chemische Wirkung durch das Licht hervorzubringen, ein gewisser minimaler Wert der Strahlungsenergie überschritten sein muss. Es wird demnach eine bestimmte Lichtmenge eine gewisse Zeit hindurch wirken können, ohne dass sich eine chemische Wirkung des Lichtes nachweisen lässt. Diese Erscheinung bezeichneten Bunsen und Roscoe als photo-chemische Induktion. Sie findet sich auch bei der im Entwickler geschwärzten Bromsilbergelatine. Da sich gezeigt hat, dass der erste nachweisbare Eindruck stets bei demselben Wert des Produktes i.t erhalten wird, welche Entwicklungssubstanz man auch verwendet,[1]) dass also immer die gleiche Strahlungsenergie hierfür erforderlich ist, so liegt die Auffassung nahe, dass die Schwingungen der Moleküle durch die auf-

[1]) Precht, Atelier der Photogr. 1896.

treffenden Lichtschwingungen erst bis zu einer bestimmten Amplitude gesteigert werden müssen, bevor eine Zersetzung eintritt. Wie dem auch sei, jedenfalls zwingt die Erscheinung der photochemischen Induktion dazu, für alle Versuche die Bromsilbergelatine durch vorheriges Belichten in den Zustand zu versetzen, von dem ab eine weiter zugeführte, sehr kleine Lichtmenge schon einen entwickelbaren Eindruck erzeugt. Wir bringen also ebenso wie Miethe alle Platten in das Vorbelichtungsmaximum (vgl. § 3).

11. Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, dass nach Ueberschreiten des Vorbelichtungs-Maximums später auffallende Lichtmengen nicht dasselbe, sondern schon verändertes Material beeinflussen. Es ist eine Schirmwirkung des belichteten Bromsilbers gegenüber den tiefer liegenden, noch unbelichteten Schichten denkbar. In Versuchen von Leonhard Weber[1]) hat sich indessen eine solche nicht nachweisen lassen.

Ferner liegt es im Mechanismus des Entwicklungs-Prozesses, dass viel mehr Silber durch das Licht verändert worden ist, da ja, wie schon erwähnt wurde (§ 2), nach Eder[2]) Silber, Entwickler und unverändertes Bromsilber eine elektrolytische Zelle bilden, die fortdauernd Silber abscheidet; die Dichtigkeit des Silberniederschlags kann also nur bedingungsweise ein Mass der chemischen Wirkung des Lichtes sein.

Dauer der Entwicklung.

12. Es ergab sich nach Vorstehendem die Notwendigkeit, den Einfluss der Dauer der Entwicklung auf die Dichtigkeit des Silberniederschlags in unserem Falle zu untersuchen.[3]) Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, dass Serien von Platten, die alle in 1 m Abstand gleich lange belichtet waren, verschieden lange der Einwirkung des Entwicklers

[1]) Photogr. Mitteil. 1894.

[2]) Eder, Handb. d. Photogr. III. Teil.

[3]) Man vergleiche auch Eders Handb. l. c. pag. 309.

ausgesetzt wurden. Das Resultat ist in beigefügter Tabelle 1 und Kurve Fig. II dargestellt. Die Ordinaten bezeichnen die Zeiten, die Abscissen die Dichtigkeit des Silberniederschlags, gemessen durch die photometrisch bestimmten Absorptionskoëfficienten.

Entwicklungszeiten	Absorptionskoëff. (α-1-ε)
12,5 sec	0,222
25	0,319
50	0,624
100	0,817
125	0,900
150	0,927

Tab. 1.

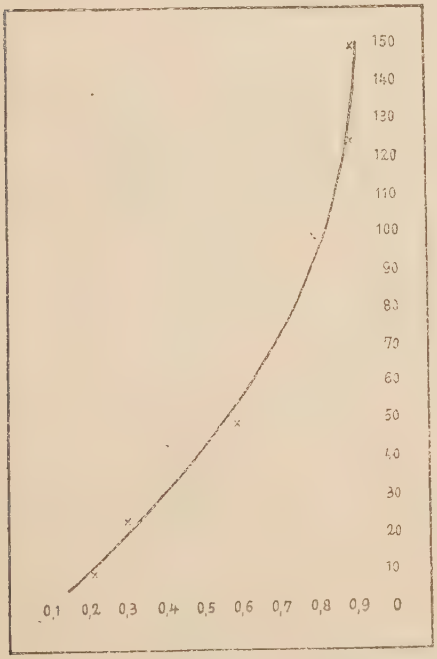


Fig. 2.

Wie zu erwarten, wächst die Dichtigkeit des Silberniederschlags nicht proportional der Dauer der Entwicklung, doch ist der Verlauf der Kurve auch für stark verschiedene Expostionszeiten der einzelnen Serien stets der gleiche. Aus diesem Grunde wurde für die endgültigen Versuche eine Entwicklungsdauer von 110 sec. genommen, weil sich hierbei bequem zu photometrierende Niederschläge ergaben.

Temperatur der Platten.

13. Die Temperatur der Platten ist ohne Einfluss auf das Resultat. Wie schon Dewar und Abney nachwiesen, verliert Bromjodsilbergelatine bei der Temperatur der flüssigen Luft noch nicht seine Lichtempfindlichkeit. Allerdings ist die Empfindlichkeit bei — 180° um 80 % vermindert, aber es lässt sich noch bei — 200° eine chemische Wirkung konstatieren. Besonders interessant ist die Erscheinung dadurch, dass andererseits auch Erwärmung der lichtempfindlichen Substanz die chemische Wirkung des Lichtes vermindert, während im Allgemeinen die Reaktionsfähigkeit der Stoffe mit der Temperatur erheblich wächst. Nach V. Meyer wird bis zur Weissglut erhitztes Chlorsilber nicht zersetzt und nach Acworth[1]) reagiert aus lauwarmer Lösung gefälltes Chlorsilber beim Erhitzen auf 220° fast nicht mehr auf diffuses Licht.

Es war daher zu untersuchen, ob und in welcher Weise sich die Empfindlichkeit der Bromsilbergelatine innerhalb eines beträchtlichen Temperaturintervalles ändere. Um die Bromsilberschicht auf die verschiedenen Temperaturen zu bringen, fertigten wir uns den in Fig. 3 dargestellten Apparat.

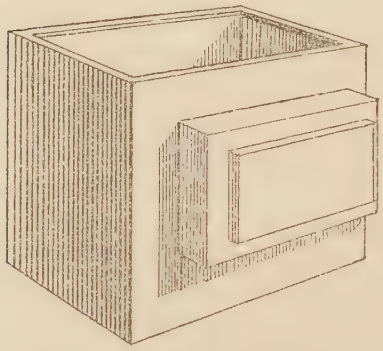


Fig. 3.

Ein Blechkasten hat an einer Seite einen Vorsprung, auf welchen genau schliessend der in Fig. 1 abgebildete Apparat geschoben wird und zwar so, dass die Platten direkt mit dem sehr dünnen Blech in Berührung kommen. Durch Einfüllen von Kältemischungen resp. angewärmtem Wasser in den Kasten konnte den Platten für die Zeit der Exposition jede beliebige Temperatur zwischen — 30° und + 90° ge-

[1]) Eders Jahrb. 1894. Prof. Wiedemann.

geben werden. Die Kältemischung resp. das auf konstanter Temperatur gehaltene Wasser blieb vor der Exposition so lange mit der Platte in Berührung, dass die Temperatur der Schicht von der des Bades jedenfalls nicht viel differierte. Vorversuche hatten gezeigt, dass die Gelatineschicht in trockenem Zustand lange Zeit auf 80—90° erwärmt werden konnte, ohne sich zu verändern. In dem angegebenen Temperatur-Intervall (— 30° + 90°) werden insgesamt achtzehn Aufnahmen gemacht, indem jede einzelne Platte 10 sec. in 1 m Abstand durch die Hefnerlampe belichtet wurde. Um zu konstatieren, ob nicht Erwärmung allein ohne Belichtung eine Schwärzung im Entwickeln hervorrufe, wurde auch nach dieser Richtung eine Serie aufgenommen. Vor der Entwicklung überliess man die Platten sich selbst, um die Temperatur völlig auszugleichen. Es ergab sich, dass Erwärmung allein keine Spur von Bromsilberreduktion zur Folge hat.

Folgende Tabelle giebt das Resultat für eine Belichtungsdauer von 10 sec. bei 1 m Abstand und 110 sec. Entwicklung an.

Temperatur der Schicht	Absorptionskoëfficienten
— 32° C	0,6634
30	0.6645
25	0,6700
20	0,6654
10	0,6659
5	0,6710
0	0,6635
+ 5	0,6678
10	0.6704
15	0,6691
20	0.6695
30	0,6635
40	0,6700
50	0,6639
60	0,6680
70	0 6690
80	0 6623
90	0,6644

Tab. 2.

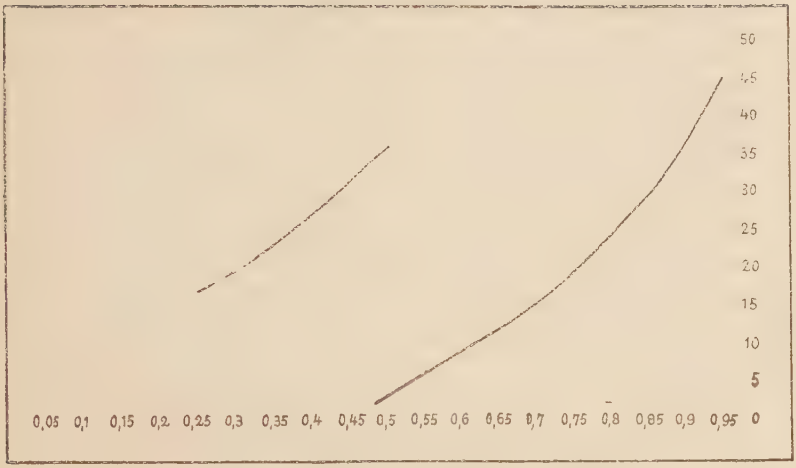
Es ergiebt sich also, dass die Absorption bei allen gleich war, mit andern Worten: dass in dem Temperatur-Intervall von -30^{0} bis $+90^{0}$ die Empfindlichkeit der Bromsilbergelatineschicht sich nicht ändert.

Temperatur des Entwicklers.

14. Die Temperatur des Entwicklers ist naturgemäss von grossem Einfluss auf die Intensität der Schwärzung. Es wurden eine Anzahl Platten in gleichem Abstand von der Lichtquelle je 10 sec. belichtet und dann die Platten einzeln in Entwicklern hervorgerufen, deren Temperatur variirte. Die Resultate sind in Tabelle 3 und Kurve Fig. 4 a dargestellt, wo die Ordinaten die Temperatur, die Abscissen die Absorptionskoëfficienten bezeichnen. Bei einer Temperatur des Entwicklers von $+20^{0}$ schwärzte sich auch der nicht belichtete Teil der Platte bei der Entwicklungszeit von 110 sec. Dieser „Schleier" verstärkte sich gleichmässig bis $+35^{0}$, wo er eine bedeutende Dichtigkeit erlangte. Der Verlauf dieser von der Exposition unabhängigen Schwärzung ist in Fig. 4 b dargestellt.

Temperatur des Entwicklers	Absorptionskoëfficenten
0°C	0,465
5	0.560
10	0,562
15	0,669
20	0,777
25	0,830
30	0,848
35	0,969

Tab. 3.



b Fig. IV. a

Bei Anwendung von normalen Eisenoxalat darf demnach die Temperatur des Entwicklers 20° C nicht übersteigen, wenn man bei einer Entwicklungsdauer von 2 Minuten schleierfreie Platten erzielen will.

15. Die Genauigkeit unserer Messungen hängt wesentlich ab von der Konstanz der Lichtquelle während der Exposition und von der Grösse der Abweichungen der Einzelmessungen beim Photometrieren, denn diese bestimmen die Fehler der Absorptionskoëfficienten. Was den ersten Punkt anbetrifft, so hat nach den darüber angestellten Versuchen[1]) die Amylacetatlampe eine Maximalschwankung von 1 % ihres Wertes. In dieser Beziehung wird die Hefner-Lampe durch keine andere Lichteinheit erreicht, geschweige denn übertroffen. Die Genauigkeit der photometrischen Messungen ist leider nicht konstant. Während für geringe Schwärzungen der Platte nach andauernder Uebung eine Sicherheit der Einstellung von $^1/_2$—1 % erreicht werden konnte, wachsen die

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 1888.

Fehler mit der Dichtigkeit des Silberniederschlags. Bei starker Schwärzung ist das Auge für die Wahrnehmung von kleinen Unterschieden unempfindlich, sodass Fehler bis zu 5 % und mehr vorkommen, die durch Multiplikation der Zahl der Beobachtungen nicht zu beseitigen sind. Um die Beobachtungen möglichst zu erleichtern, wurde die belichtete, d. h. also zu photometrierende Fläche möglichst gross gewählt. Sie hatte 50 mm Durchmesser (also rund 20 □cm Inhalt). Wir teilen die Probe einer Versuchsreihe mit.

Stand der Petrollampe: 45 cm. Stand der Amyllampe: 290 cm. Stand der Photometers: 122,3 122,6 122,2 122,8 122,6.

Es ist zu erwägen, dass die Silberniederschläge ziemlich dünn sind und so werden wir eine Genauigkeit von etwa 2—3 % in Anspruch nehmen dürfen.

Die durch die Glasplatten, die unbelichtete Gelatineschicht und etwaigen chemischen Schleier bewirkte Absorption konnte vernachlässigt werden, da sich mit Hülfe des Photometers nicht mehr unterscheidbare Absorptionskoëfficienten ergaben.

Resultate.

16. Die ersten Versuchsreihen waren mit nicht vorbelichteten Platten ausgeführt. Es zeigte sich sehr bald, dass eine Reihe unregelmässiger, wenn auch nicht sehr beträchtlicher Abweichungen vorkam, die das klare Hervortreten des Bunsen-Roscoe'schen Gesetzes beeinträchtigten. Alle endgültigen Versuche wurden daher mit Platten ausgeführt, die in das Vorbelichtungs-Maximum gebracht waren. Die Platten konnten im Abstand von 6 m von der Lichtquelle 3 Sekunden lang belichtet werden, ohne dass irgend ein Eindruck durch den Entwickler nachweisbar war, während bei 4 Sekunden Belichtung ein deutlicher Schleier auftrat. Es heisst das also, es konnten der empfindlichen Schicht eine Strahlungsenergie von $^1/_{12}$=0,083 Hefner-Meter-Sekunde ohne chemische Wirkung zugeführt werden. Hieraus lässt sich der Arbeitswert der photochemischen Induktion be-

rechnen, da die Gesamt-Strahlung der Hefner-Lampe bekannt ist.[1]) Es empfängt nämlich eine in 1 m Entfernung von der Amyllampe aufgestellte Fläche, deren Normale horizontal ist und durch die Flammenmitte hindurch geht, in jeder Sekunde eine Lichtmenge, deren Energie äquivalent einer Wärmemenge von $361 \times 10^{-9} \frac{\text{gcal}}{\text{scc}}$ oder einer mechanischen Arbeit von 15,15 absoluter Arbeitseinheiten. Demnach beträgt für unsere Platten der Arbeitswert der photochemischen Induktion rund 1,26 Erg. Dieser Wert stimmt gut mit dem überein, den Ebert[2]) für die absolute Strahlungs-Empfindlichkeit von Gelatineplatten bestimmt hat (1 Erg.).

17. Mit den im Vorbelichtungs-Maximum befindlichen Platten wurden Aufnahmen gemacht bei Abständen der Amyllampe von 1—6 Meter mit steigender Belichtungszeit, wie es folgendes Schema zeigt.

Abstand	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	i.t
Belichtungszeiten	Sec. $^1/_4$	Sec. 1	Sec. 2,25	Sec. 4	Sec. 6,25	9	HMS 0,25
	$^1/_2$	2	4.5	8	12,5	18	0,5
	1	4	9	16	25	36	1
	2	8	18	32	50	72	2
	4	16	36	64	100	144	4
	9	36	81	144	225	324	9
	16	64	144	256	400	576	16
	25	100	225	400	625	900	25
	36	144	324	576	900	1296	36
	49	196	441	784	1225	1764	49
	64	256	576	1024	1600	2304	64
	81	324	729	1296	2025	2916	81
	100	400	900	1600	2500	3600	100

[1]) Tumlirz Wied. Ann. Band 38, 1899, pag. 659.

[2]) Eders Jahrb. 94, pag. 14.

Die Belichtungszeiten sind so gewählt, dass jedesmal die Produkte aus Zeit und Intensität die gleichen sind. Es ergaben sich also Versuchsreihen, in denen das Produkt aus Intensität und Belichtungszeit zwischen 0,25 und 100 H M S in je 13 Stufen variirt. Die Versuchsreihen wurden mehrfach wiederholt zur Kontrolle, besonders die Serien 1 und 6 m Abstand der Lampe, sodass im ganzen rund 300 Aufzeichnungen gefertigt wurden. Die Resultate sämtlicher Reihen stimmen so nahezu unter einander überein, dass es ohne Interesse ist, das gesamte Zahlenmaterial anzuführen und wir uns begnügen, das Endresultat mitzuteilen: „Das Bunsen-Roscoe'sche Gesetz hat vom kleinsten Wert des Produktes i.t oberhalb des Vorbelichtungs-Maximums bis zu dem Wert 35 H M S Gültigkeit.“ Oberhalb dieser Grenze gilt das Reciprocitätsgesetz nicht mehr, der Extinctionskoëfficient wächst viel langsamer als das Produkt i.t. Unsere mit vorbelichteten Platten erhaltenen Ergebnisse decken sich also mit denen von Miethe in seiner Dissertation niedergelegten insofern völlig, als sich bei uns ebenfalls das Gesetz innerhalb eines nunmehr in absolutem Mass angebbaren Intervalls richtig erweist. Für Belichtungen oberhalb 35 H M S fanden sich starke Abweichungen von der einfachen Gesetzmässigkeit, es nimmt die Schwärzungen von bestimmtem Wert des Produktes i.t ab nicht mehr zu, sondern sie nimmt ab. Diese Erscheinung bezeichnet man bekanntlich als Solarisation.

18. Weitere Untersuchungen erstreckten sich auf den Einfluss der farbigen Belichtung. Zunächst handelte es sich darum, festzustellen, ob mit bestimmten Spektralfarben vorbelichtete Platten sich anders verhalten würden als weiss vorbelichtete. Besonderes Interesse gewannen die Versuche durch die von Krone[1]) aufgestellte Behauptung, dass Vor- und Nachbelichtung sich nur dann in ihrer Wirkung addiren, wenn beide in denselben Wellenlängen stattfänden, andernfalls aber Vor- und Nachbelichtung sich schwächen.

[1]) Photogr. Rundschau 1895, pag. 16.

Diese Behauptung sucht Krone durch gewisse beim Photographiren der Sonne auftretende Solarisations-Erscheinungen zu stützen, die aber anderer Deutung fähig sind; auch verweist er auf den bekannten Versuch Bequerels, wonach eine rot vorbelichtete Silbersubchloridschicht nur eine Verstärkung des roten Teils eines auf der empfindlichen Schicht entworfenen Spektrums zur Folge hat. Dieser Versuch ist indessen kürzlich durch die eingehenden Arbeiten von Wiener[1]) über Farbenphotographien in ganz anderem Sinne aufgeklärt worden. Dennoch unterliessen wir nicht, statt der früheren weissen Vorbelichtung farbige zu versuchen.

19. Zur Erzeugung farbigen Lichts von bekannter spektraler Zusammensetzung benutzten wir die von Landolt für photometrische Zwecke angegebenen Strahlenfilter[2]). Die Benutzung dieser Filter geschah besonders aus praktischen Gründen, da eine direkte Anwendung des Spektrums wegen der erforderlichen grossen Ausdehnung der farbigen Lichtquelle unthunlich war. Auch ist mit Hilfe der Filter die Intensität des farbigen Lichts am einfachsten konstant zu erhalten und jederzeit leicht reproduzierbar. Die von den Filtern durchgelassenen Wellenlängen sind von Landolt folgendermassen bestimmt worden:

rot	639—718	$\mu\,\mu$
gelb	614—574	„
grün	505—540	„
hellblau	458—498	„
dunkelblau	410—478	„

Ein allseitig geschlossener, mit lichtdichtem Schornstein versehener Kasten enthielt eine Petroleumlampe. Nach einer Seite hin war der Kasten durch Glaströge mit parallelen Wänden, deren Grösse 10×15 cm betrug, abgeschlossen. Diese Glaströge wurden mit den farbigen Flüssigkeiten ge-

[1]) O. Wiener, Photogr. durch Körperfarben und mech Farbenanpassung i. d. Natur. Wied. Annal. 95.

[2]) Bericht der Berl. Acad. 93, Band II, pag. 923.

füllt. Vor die Glaströge wurden unter Benutzung der optischen Bank die zu belichtenden Platten gestellt. Die Intensität der Petroleumlampe war auf 3,9 Hefner Einheiten bestimmt.

20. Um nun die Vorbelichtungs-Maxima für farbiges Licht und damit ihren chemischen Schwellenwert zu bestimmen, mussten die Extinctionskoëfficienten der Filter bekannt sein. Diese wurden mit Hilfe des Glan'schen Spektrophotometers bestimmt[1]). Es ergaben sich folgende Werte:

Extinctionskoëfficient

für rot = 0,2160
gelb = 0,0182
grün = 0,1149
hellblau = 0,1037
dunkelblau = 0,0019

Das Vorbelichtungs-Maximum betrug für die von uns benutzte Bromsilbergelatine für die einzelnen Farben:

rot	95	sec.	bei	$^1/_2$	m	Abstand	von	der Petrollampe
gelb	400	„	„	—	„	„	„	„
grün	7	„	„	—	„	„	„	„
hellblau	40	„	„	6	„	„	„	„
dunkelblau	3	„	„	6	„	„	„	„

Mit Hilfe dieser Werte lässt sich nun ein zahlenmässiger Vergleich der chemischen Wirksamkeit der verschiedenen Farben ausführen, wenn wir wie oben annehmen, dass die zur Erreichung der Vorbelichtungs-Maxima aufgewandte Energie ein Mass der Strahlungsempfindlichkeit ist.

Setzen wir die chemische Wirksamkeit des roten Lichts, das durch den Laudolt'schen Filter hindurch geht = 1, so

[1]) Die Bestimmung wurde von uns im Phys. Institut der Kgl. Academie hierselbst ausgeführt.

Ich benutze diese Gelegenheit, Herrn Prof. Dr. Ketteler für die Ueberlassung der Apparate meinen besten Dank auszusprechen.

ergiebt sich für die chemische Wirksamkeit der Farben die folgende Zahlenreihe:

rot = 1
gelb = 5
grün = 27
hellblau = 716
dunkelblau = 40140

Natürlich haben diese Zahlen nur Gültigkeit für die Mengenverhältnisse, in denen die betreffenden Lichtarten im Lichte der benutzten Lampe enthalten sind. Das Spektrum der Petrollampe ist von dem der Amyllampe nicht sehr verschieden.

21. Unter Benutzung der oben bestimmten Vorbelichtungs-Maxima wurden Serien von Platten farbig vorbelichtet und in der früheren Weise mittels Amyllampe weiss nachbelichtet. Stellen wir das Resultat durch Kurven dar, so war der Verlauf genau übereinstimmend mit den früher für weisses Licht gefundenen, wie auch nicht anders zu erwarten war. Um zu prüfen, ob etwa farbige Vorbelichtung eine später folgende farbige Nachbelichtung vermindern kann, wurden auch nach dieser Richtung hin Versuche angestellt.

Wir belichteten je eine Platte rot, gelb, grün, blau und weiss vor, dann alle fünf mit rotem Licht nach; ebenso setzten wir die so vorbelichteten Platten den andern Farben, also gelb, grün, blau und ferner auch weissem Licht zur Nachbelichtung aus. Bei allen diesen Versuchen ist nirgends eine Abnahme der chemischen Wirkung infolge der Vorbelichtung zu konstatieren gewesen. Ob eine Platte durch weisses oder farbiges Licht in das Vorbelichtungs-Maximum gebracht wird, ist für die Intensität der durch später auffallende Lichtmengen erzeugten Schwärzung völlig gleichgültig, auch wenn die eigentliche Exposition der Platte mit farbigem Licht erfolgt. Die von Krone vertretene Anschauung muss also wohl als nicht haltbar bezeichnet werden.

22. Ähnliche Reihen von Aufnahmen, wie sie früher für weiss angestellt wurden, um die Gültigkeit des Bunsen-

Roscoe'schen Gesetzes zu untersuchen, sind auch für farbiges Licht ausgeführt. Es blieb bei diesen Versuchen, die angewandte Lichtintensität konstant und nur die Belichtungszeit wurde geändert. Die sich ergebenden Kurven stimmen in ihrem allgemeinen Verlauf mit denen für weisses Licht überein. Wegen des sehr geringen aktinischen Wertes des gelben und roten Lichtes sind für diese Farben die Versuche nur bis zu gewissen Grenzen durchgeführt.

23. Sucht man diejenigen Belichtungszeiten für die gleiche Schwärzung durch verschiedenfarbige Beleuchtung, ergiebt und verdoppelt man diese Zeiten, so ergiebt sich, dass die Zunahme der Schwärzung für die verschiedenen Farben verschieden gross ist. Je geringer die Brechbarkeit der betreffenden Farbe, um so kleiner die Zunahme der Schwärzung. Die Änderung der Absorptionskoëfficienten, die einer gleich grossen Änderung der Lichtintensität entspricht, wollen wir als Schwärzungs-Gradienten bezeichnen[1]). Die Gradienten für die verschiedenen Farben sind also nicht gleich, sondern wachsen von dem roten nach dem violetten Ende des Spektrum hin, oder anders ausgedrückt, die Proportionalitätsfaktoren des Bunsen-Roscoe'schen Gesetzes ändern sich mit der Wellenlänge des Lichts und zwar sind sie für kleine Wellenlängen grösser. Unsere Untersuchungen ergeben nun, dass bis zu einem oberen Grenzwert, wie schon erwähnt, die Schwärzung auch für die einzelnen Farben proportional der Belichtungszeit wächst, also der Gradient für die betreffende Farbe konstant ist. Die Gradienten lassen sich als ein Mass der verschiedenen chemischen Wirksamkeit der benutzten Spektralbezirke auffassen. Vergleichen wir die Verhältnisse der Gradienten mit den oben gefundenen Werten der Strahlungsempfindlichkeit, so ergiebt sich, wenn rot = 1 ist.

---

[1]) Vergleiche auch Miethe, Dissertation.

[2]) Vergl. auch Eberhard, Versuche über Farbensensibilisatoren. Eders Jahrb. 97.

	Gradient	Schwellenwert
rot	1	1
gelb	17	5
grün	27	27
hellblau	1041	716

Wie zu erwarten, liegt der Gradient für weisses Licht dem für blau erhaltenen am nächsten — die chemische Wirkung des Lichts wird vorzugsweise durch den in ihm enthaltenen Anteil der blauen und violetten Strahlen bestimmt. Oberhalb der Grenzen der Gültigkeit des Bunsen-Roscoe'schen Gesetzes wächst die Schwärzung langsamer, als dem Produkt i . t entspricht, die Gradienten werden alle kleiner.

24. Noch ein wichtiges Resultat ergiebt sich, nämlich, dass bei den Farben das Gesetz bis zum gleichen Betrag der chemischen Strahlungsenergie gilt, einerlei, in welcher Wellenlänge die Strahlung erfolgt. Der Absorptionskoëfficient, der diesem Punkt entspricht, ist etwa 0,6.

25. Die starken Ungleichheiten in der chemischen Wirksamkeit der verschiedenen Wellenlängen sind durch die Einführung der orthochromatischen Platten zum Teil überwunden. Es erschien daher wichtig, auch für sensibilisirte Platten die Gradienten für die verschiedenen Farben zu bestimmen. Wir benutzten folgende Platten:

Schleussner-Platten, sensib. mit Eosinsilber,

„ „ „ „ Cyanin-Erythrosin,

„ „ „ „ Jaborandi-Tinktur.

Die letztere wurde gewählt, weil nach Acworth's[1]) Untersuchungen hiermit sensibilisierte Platten die regelmässigsten Wirkungskurven zeigen. Aus den zahlreichen Versuchen, die wir mit diesen Platten anstellten, teilen wir hier nur die allgemeinen Ergebnisse mit. Es zeigt sich, dass stets die absolute Empfindlichkeit und der Gradient in

[1]) Wied-Annal. 1890.

denjenigen Spektralbezirken günstig beeinflusst werden, in denen der betreffende Sensibilisator eine Absorption ausübt, dass dagegen in anderen Wellenlängen unter Umständen eine Verminderung der Empfindlichkeit eintreten kann. Es wurde so z. B. die Grünwirkung (μ: 505—540) bei der Cyanin-Erythrosinplatte auf $^1/_3$, für blau fast auf $^1/_7$ reduzirt. Die Jaborandi-Platten, die für gelb und grün $^7/_8$ ihrer Empfindlichkeit einbüssten, zeigten nur gesteigerte Rotempfindlichkeit. Es ist möglich, dass dieses letzte Resultat teilweise durch die Art des Sensibilisirens beeinflusst ist, da Acworth selbst angiebt, dass nur ein sehr geringer Bruchteil der sensib. Platte eine gleichmässige Wirkungskurve zeigt.

Das eine lässt sich mit Sicherheit aus unsern Versuchen mit Sensibilatoren entnehmen, dass man noch weit entfernt ist von dem Ziele, die Proportionalitätsfaktoren des Bunsen-Roscoe'schen Gesetzes für verschiedene Farben so durch Farbstofflösungen zu ändern, dass das Verhältnis der chemischen Intensitäten der Farben dem optischen Helligkeitsverhältnis entspricht, wie ihn das Auge empfindet.

Fassen wir zum Schluss die gewonnenen Resultate kurz zusammen:

1. Die Dichtigkeit des aus belichteter Bromsilbergelatine im Eisenoxalatentwickler reduzirten Silbers ist im Temperaturintervall -30^0 bis $+90^0$, unabhängig von der Temperatur, welche die Bromsilbergelatine während der Belichtung hatte.
2. Beträgt die Temperatur des Entwicklers mehr als 20^0, so wird auch aus nicht belichteter Bromsilbergelatine Silber reduzirt.
3. Der von uns benutzten Silbergelatine konnte eine Energie von 1,26 Erg in der Form von Licht zugeführt werden, ohne dass eine merkliche Silberreduktion im Entwickler nachweisbar war.
4. Die von uns benutzte Bromsilbergelatine im Vorbelichtungs-Maximum folgt dem Bunsen-Roscoe'schen Ge-

setz in einem Intervall von 0—35 Hefner-Meter-Sekunde.

5. Die Vorbelichtungs-Maxima wachsen bei farbiger Belichtung vom blauen nach dem roten Ende des Spektrums.
6. Vorbelichtung und Nachbelichtung summiren sich unterhalb der Solarisationsgrenze, einerlei in welchen Wellenlängen sie stattfinden.
7. Bei farbiger Belichtung gilt das Bunsen-Roscoesche Gesetz von 0 bis zu bestimmten Grenzwerten, die bei allen Farben bei nahezu der gleichen Dichtigkeit des Silberniederschlags liegen, also gleichen Werten der chemischen Strahlungsenergie der verschiedenen Farben entsprechen.
8. Die Zunahme der Schwärzung ist bei gleicher Zunahme der Lichtintensität für verschiedene Farben nicht die gleiche, sondern wächst vom roten nach dem blauen Ende des Spektrums.
9. Bei der Sensibilisirung mit Farbstoffen wächst mit der absoluten Empfindlichkeit der Schicht im allgemeinen auch der Schwärzungsgradient für diejenigen Teile des Spetkrums, die der Farbstoff absorbirt.

Die Anregung zu vorstehender Arbeit gab mir Herr Dr. Precht in Heidelberg, der mich durch mannigfache, wertvolle Ratschläge unterstützte, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

Lebenslauf.

Ich, Anton Maria Schellen, katholischer Konfession, wurde am 4. April 1863 als Sohn des jetzt verstorbenen Dr. phil. Bernard Schellen zu Münster i. W. geboren. Nachdem ich den ersten Unterricht in der Domschule daselbst erhalten, besuchte ich das Realgymnasium, welches ich mit dem Zeugnis für die Obersecunda verliess. Alsdann begab ich mich nach Salzburg an die K. Staatsgewerbeschule, um hiernach im elterlichen Hause beschäftigt zu sein. Um meine durch Privatstudien erlangten Kenntnisse auszudehnen, teils um eine andere Lebensstellung einzunehmen, entschloss ich mich, an der hiesgen K. Akademie zu studiren. Ich habe der Akademie während 7 Semester angehört. Ich hörte besonders die Vorlesungen der Herren Professoren Dr. Dr. Ketteler, Lehmann und Biermer, denen ich an dieser Stelle für die vielfachen Anregungen und die bewiesene Geneigtheit herzlichen Dank ausspreche.